

新疆赛吾迭格尔大桥设计基准风速的计算与分析

张 玥^{1,2}, 刘健新¹

(1. 长安大学 风洞实验室, 陕西 西安 710064; 2. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 为了确保赛吾迭格尔大桥抗风安全, 有极其重要的地位, 利用桥址区富蕴县气象站的风速基本资料分析了桥位周边平均风速、最大风速、历年的极值风速及各月平均风速、风向等基本特征; 建立了气象站逐年最大风速序列, 采用极值Ⅰ型、皮尔逊Ⅲ型和不同规范计算了桥位处不同重现期的设计基本风速; 同时考虑大桥所处喀拉塑克水库在蓄水或放空两种情况下地表类别的不同, 推算出桥面处的设计基准风速, 为进行大桥的风洞试验及颤振、抖振分析和结构分析时风荷载计算提供准确依据。

关键词: 风特性观测; 风剖面; 湍流强度; 阵风因子

中图分类号: U 442.4 **文献标识码:** A

0 引言

赛吾迭格尔大桥为 84.5 m + 278 m + 84.5 m 三跨钢桁架悬索桥, 位于富蕴县以西 57 km 处的低山丘陵地带的山脊上, 跨过额尔齐斯河, 是喀拉塑克水利枢纽工程的补偿配套工程。该桥结构轻柔且桥宽仅 4 m, 对风荷载非常敏感。确定风荷载对大桥的设计、施工、安全营运均至关重要。

赛吾迭格尔大桥地处我国的强风区——新疆北部, 桥址处风力大, 风期长, 风况较为复杂。由于近地层的风受地理及地表状况的影响很大, 仅仅通过规范确定设计风速取值是不全面的。应该同时根据邻近气象站数据推算大桥的设计风速, 综合考虑来确定赛吾迭格尔大桥的抗风设计要求。考虑到水库建成并蓄水成功后, 将使得额尔齐斯河水位提升约 50 m, 导致该桥所处地表类别发生变化这一特殊情况。笔者对赛吾迭格尔大桥的设计基本风速进行专门研究, 以便为后续抗风设计、指导施工提供可靠的技术依据^[1]。

1 桥位区附近气候及地貌概况

1.1 气候概况

赛吾迭格尔大桥桥位属大陆型寒温干旱气候。年平均气温 2.7℃, 极端最低气温发生在 1 月份, 为 -49.8℃, 最高气温发生在 7 月份, 为 37.8℃。

年降水量 150 ~ 300 mm, 平均降水 246 mm, 年蒸发量 1896.5 mm。区域内全年以西北风和东风为主, 冬季一、二月份以东风为主, 最大风力 8 级; 春季四、五月份以西北风为主, 最大风力 9 级, 根据新疆年平均风速分布可知。桥址区年平均风速达 2.5 m/s。

1.2 桥位地貌

桥位处地形为低山丘陵地形, 整体地势呈东北高西南低之势, 平均海拔 700 m 以上。额尔齐斯河深切 50 m 形成河槽, 河槽呈 U 型, 底宽 80 m, 顶宽约 300 m。河流两岸均为岩石山体, 且岩层出露。山体顶部覆盖有 20 ~ 50 cm 厚土层, 长有较密旱生禾草、小灌木和杂草。

2 气象资料和测站原始数据处理

2.1 气象资料

气象资料来源于富蕴县气象局, 气象站位于桥位以东 40 km 处: 北纬 46°59', 东经 89°31', 观测场海拔高度 823.6 m, 气压 826.6 Pa, 采用 EL 型自动风向风速计进行连续记录, 风杯高度 10.3 m。1961 年 6 月 ~ 1980 年 12 月和 1991 年 1 月 ~ 2000 年 12 月的风速风向资料如表 1 所示。

2.2 原始数据处理^[1-2]

2.2.1 最大风速的样本

平均风速系 10 m 高、一般空旷平坦地面的

收稿日期: 2008-2-26; 修订日期: 2008-04-06

项目来源: 新疆维吾尔自治区公路规划勘察设计研究院 (CAF200716)

作者简介: 张 玥 (1978-), 女, 河北唐山人, 西安科技大学讲师, 长安大学博士研究生, 主要从事桥梁抗风及制振方面的研究, E-mail: pinganyue@ yahoo. cn

表 1 富蕴气象站 1961~1980、1991~2000 年各年月最大风速
Tab.1 Monthly maximum wind speed during 1961~1980 and
1991~2000 in Fuyun Meteorological Station

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961						>20	9	9	12	12	14	4
1962	4	8	20	20	>20	20	>20	>20	>20	>20	4	14
1963	5	9	12	>20	17	14	10	12	14	20	20	14
1964	2	4	12	14	14	14	14	10	14	12	10	5
1965	6	8	12	10	14	12	12	10	14	10	16	8
1966	9	17	24	10	14	18	14	9	17	10	10	6
1967	5	10	10	12	18	12	16	10	9	8	10	8
1968	10	8	16	16	16	14	12	9	12	12	14	8
1969	6	6	12	12	14	9	10	12	12	10	6	3
1970	6	12	7	14	14	14	14	9	10	12	10	5
1971	12	5	12	14	16	14	18	9	12	12	10	5
1972	10	6	25	16	12	14	12	13	12	13	13	12
1973	5	13	10	14	12	12	15	10	17	12	12	6
1974	8	13	14	15	16	14	10	14	14	13	9	4
1975	4	10	10	13	17	10	10	9	10	12	10	4
1976	8	13	12	16	14	12	10	10	20	15	12	8
1977	4	11	19	14	13	13	10	16	13	13	7	5
1978	4	8	13	11	15	12	13	13	14	12	10	11
1979	11	6	12	18	17	17	14	12	15	10	13	3
1980	10	4	14	14	11	20	14	14	18	9	14	3
1991	7	7.7	14.7	13	17	12.7	17	18	14	13	13.7	11.7
1992	4	10	9.7	18	16.3	17	20.3	13	12	11.7	12.3	13
1993	3.7	11.7	13	12	14	13	13.7	14	13	16	8.7	15
1994	6	7.7	12	15	13.3	19	16	14.3	14	11	15	7
1995	13	6	14	15	17	16	13	17	13	14	10	6
1996	11	9	12.7	18.3	18.7	15.7	15	18	16.3	18	9	10.3
1997	8	16.7	10.3	16	20	16	13	16.3	10	11.7	12.7	10.7
1998	3.3	7	10	17.8	18	14	16	15	14.3	15	13	11
1999	6	5	20	15.3	12	16	16	14	14	12	13	7.7
2000	5	5	12	17	20	16.3	15	12.3	16	12	14	9

10 min 平均风速. 常取年最大风速,即一年之中仅出现一次的最大风速作为统计的样本,它在统计场中占有重要的地位.

2.2.2 最大风速的重现期

在抗风设计中,并不是选取实际风的平均值作为设计依据,而是选取比平均风大得多的某个值来进行设计的. 大于该值的极大风速并不是经常出现,而需间隔一定的时期后才出现,这个间隔时期,称为重现期. 重现期不同,设计风速也不同,因而是在概率意义上体现了结构的安全度,即结构的安全度和不超过该值的保证率,可用重现期的长短来体现. 由于最大风速的样本是以年最大风速为标准,因而重现期 T_0 通常也以年为单位.

则不超过设计最大风速的概率或保证率为:

$$P=1-\frac{1}{T_0}$$

2.2.3 最大风速及风向

表 2 中列出的是富蕴 1961~1980、1991~2000 年共计 30 年的逐月及年最大风速. 由表 2 可见,富蕴 10 min 年平均最大风速 25.0 m/s,对应的风向为西北西风(WNW),出现在 1972 年 3 月 21 日. 各月的最大风速以 3 月份最大(25.0 m/s),1 月最小(13 m/s). 全年 12 个月中有 6 个月的最大风速出现在 1962 年,10 个月的最大风速出现在 60 年代,仅有 2 个月的最大风速出现在 70 和 90 年代. 各月最大风速对应的风向,在西风至西北风的范围内.

表2 富蕴各月最大风速及其风向、出现时间

Tab.2 Monthly maximum wind speed, wind direction and its occurrence time in Fuyun Meteorological Station

月份	1	2	3	4	5	6	7
最大风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	13	17	25	>20	>20	>20	>20
同时风向	WWN	W	WNW	W	WNW	W	E W
出现日期	5	1	21	15	30	8	12
出现年份	1995	1966	1972	1963	1962	1961	1962
月份	8	9	10	11	12	年	
最大风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	>20	>20	>20	20	15	25	
同时风向	W	W	W	WNW	WWN	WNW	
出现日期	20	30	1	3	7	21	
出现年份	1962	1962	1962	1963	1993	1972	

2.2.4 各风向平均风速及频率

由图1可以看出富蕴全年以W和WNW风的频率最大,各为45.4%和42.2%,其次为NW风,频率为5.9%,有个别方向出现概率为0,体现了富蕴县西北风盛行的特点。年平均各风向下的平均风速,以W及WNW方位的风速最大,在5.0 m/s及5.0 m/s以上,NW方位的风速次之。

3 桥位区设计风速的推算^[3-8]

3.1 对气象站年最大风速序列资料的审查与订正

在资料统计和气候分析中,需对富蕴气象站提供的1961~1980和1991~2000年风速资料进行审查,考查其是否均一,有无显著的不连续现象,以便确定是否将前后两段记录合并统计。图2为30年来,富蕴气象站年最大风速的变化情况。

为了进一步判断其均一性,采用均值差异性的移动T检验方法(MTT法)进行检验:

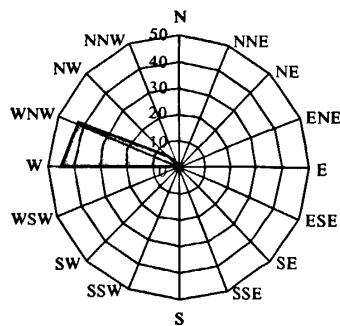
$$F = \frac{n_1 n_2 (\bar{x} - \bar{y}) / (n_1 + n_2)}{(S_x + S_y) / (n_1 + n_2 - 2)} \quad (1)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 \quad S_y = \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

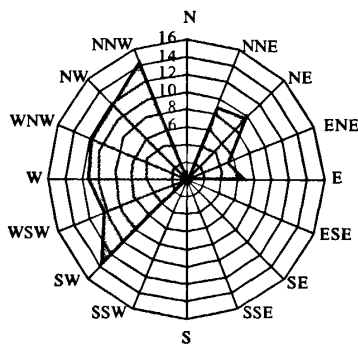
式中: F 为需要求解的判定值; \bar{x}, \bar{y} 分别为某时段前、后两个时段的平均值; n_1, n_2 分别为对应的时段。一般情况下,取置信水平为0.95, F 值的检验标准为:当 $n(n = n_1 + n_2) \geq 50$ 时, F 值大于4;10 $\leq n < 50$ 时, F 值大于5,可判定该序列前、后两时段的平均值存在显著差异或突变。

现在用式(1)来检验富蕴气象站的资料。取1964~1980年,1991~2000年为前后时段,故 $n_1 = 17, n_2 = 10$ 计算得出: $\bar{X}_1 = 17.7 \text{ m/s}, \bar{Y}_2 = 18.7 \text{ m/s}, S_x = 163.5, S_y = 18.9, F = 0.0047$,因此

1964~1980和1991~2000年风速资料没有显著的不连续变化,前后两段的风速资料可以合并统计。



(a) 年风向频率玫瑰图



(b) 年风速玫瑰图

图1 富蕴全年风向频率及年平均风速玫瑰图 (1961~1980、1991~2000年)

Fig.1 Rose diagram of annual wind direction frequency and average wind speed in Fuyun county (1961~1980, 1991~2000)

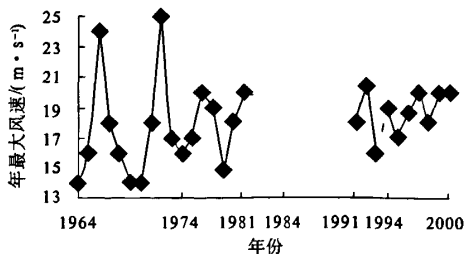


图2 富蕴气象站年最大风速变化图 (1964~1980、1991~2000年)

Fig.2 Figure of annual maximum wind velocity variation in Fuyun Meteorological Station (1961~1980, 1991~2000)

3.2 年最大风速的概率计算

作者使用的资料是10 min平均年最大风速,有30年资料,符合规范对资料的要求^[4]。按不同

概率密度函数曲线极值Ⅰ型和皮尔逊Ⅲ型计算出不同重现期的基本风速.同时作者还分别根据文献[2]及3种规范^[3-5]查得的基本风压来计算桥位区不同重现期基本风速,对比结果如表3所示.

由表3可知,按照不同概率密度函数曲线计算出的不同重现期的设计基本风速比按照不同规

表 3 富蕴县不同重现期基本风速计算汇总表

Tab. 3 Total table of basic wind speed calculation for different return periods in Fuyun county

计算方法	重现期	保证率 P	基本风压	基本风速
	/a	/%	/(kN·m ⁻²)	/(m·s ⁻¹)
不同概率密度函数曲线	极值Ⅰ型	10	90.00	21.59
		30	96.67	23.84
		50	98.00	25.05
		100	99.00	26.53
	皮尔逊Ⅲ型	10	90.00	21.43
		30	96.67	23.07
		50	98.00	24.11
		100	99.00	25.16
	由《工程结构风荷载理论和抗风计算手册》查得的基本风压换算得到基本风速	30	96.67	31.46
		50	98.00	33.00
		100	99.00	34.47
	由《建筑结构荷载规范 GB50009-2002》查得的基本风压换算得到基本风速	10	90.00	28.84
		30	96.67	31.69
		50	98.00	32.86
		100	99.00	34.47
由《公路桥涵设计规范 JTJ 021-89》查得的基本风压换算得到基本风速	30	96.67	0.75	32.70
		50	98.00	34.30
	50	98.00	0.83	34.30
		100	99.00	35.82
	100	99.00	0.90	35.82
		99.00	0.90	35.82
	基本风速	99.00	0.90	35.82
		99.00	0.90	35.82
查《公路桥梁抗风设计规范 JTG/ D60-01-2004》全国基本风速分布图得到的基本风速	10	90.00	0.48	29.40
	30	96.67	0.58	32.20
	50	98.00	0.61	33.25
	100	99.00	0.68	35.00

范计算出来的数值小 25% 左右,不同计算方法得到的设计基本风速存在差异.综合考虑,偏安全取桥址处设计基本风速 $V_{10}=35.00\text{ m/s}$.

3.3 桥位区设计基准风速的计算^[10-12]

为求出桥位区设计基准风速,通常的方法是在桥位区设置短期气象观测站,并与临近气象站进行对比分析,建立回归方程或求出从气象站到桥位的放大系数(比值),再将利用气象站资料求得的基本风速移植到桥位区.由于时间和经费原因,本次没有在桥位区设风速对比观测站.根据大气边界层理论,笔者根据设计基本风速 35.00 m/s ,按照风速随高度变化符合指数律^[4]的规律,同时考虑喀拉塑克水库在未蓄水和蓄满水 2 种情况(满库以高程 739.00 m 为准,空库有水以高程 683.00 m 为准,空库无水以高程 681.50 m 为准)分别按 B 类 $\alpha=0.16$ 和 C 类 $\alpha=0.22$ 两种

风场来计算赛吾迭格尔大桥的设计基准风速.由于篇幅所限,笔者仅给出加劲梁处不同重现期的设计基准风速,如表 4 所示.

4 结论

- (1)根据有关专家建议及实地情况,桥址区的地表情况在考虑水库蓄水与否的情况下可视为:水库蓄水后,地表类别为 B 类, $\alpha=0.16$; 水库放空后,地表类别为 C 类, $\alpha=0.22$.
- (2)据当地的气象资料,用极值Ⅰ型和皮尔逊Ⅲ型计算的设计基本风速值和 3 种规范所规定的数值存在差异.从本例来看,按照基本风压换算得到基本风速或者由规范所规定的全国基本风速分布图查到的基本风速偏安全.在做具体工程时应该综合比较后确定基本风速,仅仅通过规范取值是不够的.

表 4 桥位区加劲梁不同重现期的设计基准风速
Tab.4 Design reference wind speed at the deck level
of the bridge for different return periods m/s

重现期/a		100		50	
地表类别		B 类	C 类	B 类	C 类
满库	K1	1	0.86	1	0.86
	设计基 准风速	35.00	30.10	33.37	28.70
空库	K1	1.35	1.18	1.35	1.18
	有水	设计基	47.08	41.30	44.88
	准风速				39.38
	K1	1.35	1.19	1.35	1.19
	无水	设计基	47.31	41.62	45.11
	准风速				39.68
重现期/a		100		50	
地表类别		B 类	C 类	B 类	C 类
满库	K1	1	0.86	1	0.86
	设计基 准风速	32.18	27.67	29.28	25.18
空库	K1	1.35	1.18	1.35	1.18
	有水	设计基	43.28	37.97	39.38
	准风速				34.55
	K1	1.35	1.19	1.35	1.19
	无水	设计基	43.50	38.27	39.58
	准风速				34.82

Analysis and Calculation of the Design Reference Wind Speed
at the Xinjiang saiwudiege'er Bridge

ZHANG Yue^{1,2}, LIU Jian-xin¹

(1. Wind Tunnel Laboratory of Shanxi, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Construction and Civil Engineering Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Xinjiang saiwudiege'er bridge is located in the strong wind region of China and the structure is lightweight and flexible. In order to guarantee anti-wind safety, the determination of wind load is extremely important in Structure Design. In the paper based on the data of wind at Fuyun Meteorological Station, the elementary wind properties of average wind velocity, the maximum wind velocity, the yearly extreme velocity, monthly average wind velocity, wind direction, etc near the bridge area are analyzed. The serial of the yearly maximum wind velocity at the station is built up. According to the extreme value I distribution, pearson III distribution and different codes, design basic wind velocity for different return periods is calculated, meanwhile, considering thematic mapper is different during the kalashuoke reservoir impoundment period and reservoir escape period, the design reference wind speed at the deck level of the bridge was calculated. All the results provide an accurate basis for wind load calculation during wind tunnel test, flutter analysis and buffeting analysis.

Key words: field measurement of wind characteristic; wind profile; turbulence intensity; gust factor

参考文献:

[1] 刘 聪,黄世成,朱安祥,等. 苏通长江公路大桥设计风速的计算与分析[J], 应用气象学报,2006,17(1):45-50.

[2] 张相庭. 结构风压和风振计算[M]. 上海:同济大学出版社,1985:8-20.

[3] JTJ 021-89. 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社,1989.

[4] JTG/TD 60-01-2004. 公路桥梁抗风设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

[5] GBJ 50009-2002. 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

[6] 胡峰强,陈艾荣,王达磊. 山区桥梁桥址风环境试验研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2006,34(6):721-725.

[7] MAYNE J R. The estimation of extreme wind [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1979, 5:109-137.

[8] AMANO T, FUKUSHIMA H, OHKUMA T, et al. . Observation of typhoon winds in Okinawa by doppler sodar[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1999, 83:11-20.